水菖蒲活性物质 β-细辛醚对四种储粮害虫的熏蒸活性

姚英娟[1,2], 蔡万伦[1], 杨长举[1], 张宏宇[1], 华红霞[1,*]
(1. 华中农业大学城市有害生物防治研究所, 武汉 430070; 2. 江西省农业科学院植物保护研究所, 南昌 330200)

摘要: 植物性次生物质在植物-害虫的关系中起着非常重要的作用, 植物中的一些成分对害虫具有熏蒸、触杀和驱避等作用。水菖蒲 *Acorus calamus* L. 是一种常用中药, 它的主要杀虫活性成分为 β-细辛醚。本研究通过室内生测试验研究了水菖蒲根茎提取物 β-细辛醚对玉米象 *Sitophilus zeamais* Motschulsky、谷蠹 *Rhyzopertha dominica* (Fabricius)、赤拟谷盗 *Tribolium castaneum* (Herbst) 和四纹豆象 *Callosobruchus maculatus* (Fabricius) 4 种储粮害虫的熏蒸击倒和致死作用。结果表明: β-细辛醚对 4 种试虫的熏蒸击倒和致死作用明显。以 50 μL/L 的浓度处理120 h后, 对玉米象、谷蠹和四纹豆象的击倒作用均达到 100%, 而对赤拟谷盗击倒率为 50%; 玉米象、谷蠹和四纹豆象的死亡率分别为 81.23%, 97.78% 和 100%, 而赤拟谷盗死亡率仅为 8.89%。处理 24 h, β-细辛醚对玉米象、谷蠹、赤拟谷盗和四纹豆象的 KC_{50} 分别为 49.38, 102.96, 124.04 和 1.07 μL/L; 处理 120 h, β-细辛醚对玉米象、谷蠹、赤拟谷盗和四纹豆象的 LC_{50} 分别为 17.82, 4.42, 116.48 和 0.73 μL/L。结果显示水菖蒲根茎提取物 β-细辛醚对 4 种储粮害虫均具有明显的熏蒸效果, 具有开发为储粮害虫熏蒸剂的潜力。

关键词: 储粮害虫; 水菖蒲; 植物性杀虫剂; β-细辛醚; 熏蒸毒力
中图分类号: Q965.9 **文献标识码**: A **文章编号**: 0454-6296(2009)04-0453-08

Fumigant toxicity of β-asarone extracted from *Acorus calamus* against four stored grain beetles

YAO Ying-Juan[1,2], CAI Wan-Lun[1], YANG Chang-Ju[1], ZHANG Hong-Yu[1], Hua Hong-Xia[1,*] (1. Institute of Urban Pest Control, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China; 2. Institute of Plant Protection, Jiangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanchang 330200, China)

Abstract: Plant secondary metabolites play important roles in plant-insect relationships. Some plant-based extracts are insect repellents or have fumigant or contact toxicity. β-asarone is the main active ingredient of *Acorus calamus* L., a commonly used Chinese traditional medicinal herb. In this study, the knockdown and lethal impacts of β-asarone on four main stored-grain insects, *Sitophilus zeamais*, *Rhyzopertha dominica*, *Tribolium castaneum* and *Callosobruchus maculatus* were assayed in the laboratory. The study results showed that β-asarone extracted from *A. calamus* rhizome had significant knockdown and lethal impact on the pests. After the pests were treated with β-asarone for 120 h at the concentration of 50 μL/L, 100% of the *C. maculatus*, *S. zeamais* and *R. dominica* adults, and 50% of *T. castaneum* adults were knocked down; the mortality rates of *T. castaneum*, *S. zeamais*, *R. dominica* and *C. maculatus* adults were 8.89%, 81.23%, 97.78% and 100%, respectively. After 24 h exposure, the KC_{50} values for *S. zeamais*, *R. dominica*, *T. castaneum* and *C. maculatus* adults were 49.38, 102.96, 124.04 and 1.07 μL/L, respectively. After 120 h exposure, the LC_{50} values for *S. zeamais*, *R. dominica*, *T. castaneum* and *C. maculatus* adults were 17.82, 4.42, 116.48 and 0.73 μL/L, respectively. It is so concluded that the β-asarone extracted from *A. calamus* has distinct fumigant toxicity against all the four pests assayed, and thus can be exploited as a potential fumigant.

Key words: Stored-grain insects; *Acorus calamus*; botanical insecticides; β-asarone; fumigant toxicity

---

基金项目: 国家农业部公益性行业科研专项经费项目(200803003)
作者简介: 姚英娟, 女, 1976 年 3 月生, 河北省邢台人, 博士, 主要从事害虫生物防治研究, E-mail: yaoyingjuan@webmail.hzau.edu.cn
* 通讯作者 Author for correspondence, E-mail: huahongxia@mail.hzau.edu.cn
收稿日期 Received: 2008-12-10; 接受日期 Accepted: 2009-02-06

储粮害虫的危害是世界上粮食储藏中的一个重要问题，它们能够严重降低储粮的质量(Sinha and Watters, 1985; Madrid *et al.*, 1990)。目前，储粮害虫的防治主要采用熏蒸剂，如磷化铝和溴甲烷，但是由于很多储粮害虫已对磷化氢产生了较高的抗性(Nakakita and Winks, 1981; Mills, 1983; Tyler *et al.*, 1983; Shaaya, *et al.*, 1991; Bell and Wilson, 1995; Jembere *et al.*, 1995; Okonkwo and Okpye, 1996)，而溴甲烷由于对臭氧层的破坏作用，将于2015年在发展中国家全面停止使用(Butler and Rodriguez, 1996; Huang *et al.*, 2000)。为此，急待寻找更有效、安全的方法来控制储粮害虫的危害。

由于植物性杀虫剂具有对害虫生物活性多样、对天敌影响小、在环境中容易降解、昆虫不易产生抗药性等特点(Sighamony *et al.*, 1986; Talukder and Howse, 1995; Rajapakse and Van Emden, 1997)，因此，植物性杀虫剂在储粮害虫治理中的研究和应用显得更加重要(Addor, 1995; Haque *et al.*, 2000; Bekele and Hassanali, 2001; Fields *et al.*, 2001; Tapondjou *et al.*, 2002; 姚英娟等, 2005; Yao *et al.*, 2007)。

水菖蒲 *Acorus calamus* L. 属天南星科菖蒲属植物，是一种喜生于潮湿沼泽地的多年生草本植物，分布几乎遍布全国各地，主产于湖北、湖南、辽宁、四川等地，此外，黑龙江、河北、山西、江苏、广东、广西等地也有分布。国外，如日本、印度尼西亚、印度等地均有分布。该植物主要用于中药中，可以止痉挛、祛风和驱虫，治疗癫痫病和一些精神病，水菖蒲的挥发油也被用作香料(Raina *et al.*, 2003)。

本研究所的前期研究证明了水菖蒲提取物对储粮害虫具有很好的触杀和驱避作用，并且分离鉴定了其中的主要活性成分之一为β-细辛醚(延静等, 2006; Yao *et al.*, 2008)。本研究以水菖蒲的根茎提取物β-细辛醚对玉米象 *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Coleoptera: Curculionidae)、谷蠹 *Rhyzopertha dominica* (Fabricius) (Coleoptera: Bostrychidae)、赤拟谷盗 *Tribolium castaneum* (Herbst) (Coleoptera: Tenebrionidae)、四纹豆象 *Callosobruchus maculatus* (Fabricius) (Coleoptera: Bruchidae)进行了熏蒸处理试验，研究β-细辛醚对主要储粮害虫的熏蒸活性，以期为开发β-细辛醚为控制储粮害虫熏蒸剂提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 供试昆虫：玉米象、谷蠹、赤拟谷盗、四纹豆象均采自中国储粮总公司湖北分公司武汉直属库，并且在实验室中饲养1年以上。所有饲料在使用前放入烘箱(80℃)中消毒2 h，含水量调至13% ± 1%。在27 ± 1℃，相对湿度75% ± 5%条件下饲养。所有的试验均在此条件下进行。

玉米象、谷蠹、赤拟谷盗分别用整粒小麦、半碎小麦、半碎小麦加5%酵母粉饲养，供试成虫接入饲料，置于养虫室7 d后移出所有成虫，待新一代成虫羽化后，取14 ~ 21日龄、体型一致的成虫供试，试虫提前不经过饥饿处理。

四纹豆象用完整的绿豆进行饲养，试虫接入饲料产卵1 d后移出所有成虫，新一代羽化后1 d的成虫为试虫。

1.1.2 供试药品：β-细辛醚，由华中农业大学城市有害生物防治研究所从水菖蒲新鲜根茎中分离制备，经GC-MS测定，β-细辛醚的相对含量为97.03%。

1.2 β-细辛醚对4种试虫成虫的熏蒸活性比较

将试虫移入容积为150 mL的三角瓶中，再将大小为2 cm × 3 cm的滤纸条用双面胶粘在广口瓶瓶盖的内部。按照50，100和200 μL/L的处理浓度，用移液枪分别取β-细辛醚7.5，15和30 μL滴在滤纸上，迅速盖好瓶盖，使滤纸条悬挂在三角瓶中。最后用塑料膜及透明胶将瓶盖接口包好。每瓶接成虫30头，瓶内不加饲料。对照组不加任何药剂，每处理重复5次。各处理的熏蒸时间为24，48，72，96和120 h。熏蒸结束散气后，检查记录击倒虫数和死亡虫数。击倒标准：在100 W白炽灯下观察1 min，试虫翻倒，不能正常爬行。死亡标准：用毛笔触动虫体触角、足及尾部，不动者为死亡。

1.3 β-细辛醚对4种试虫成虫的熏蒸毒力比较

分别设置6 ~ 7个浓度，测定β-细辛醚对4种试虫的熏蒸毒力，击倒活性的熏蒸时间设定为24 h，致死活性的熏蒸时间设为120 h(表1)。具体熏蒸操作方法同1.2。

1.4 数据统计分析

采用Abbott公式(Abbott, 1925)对击倒率和死亡率进行校正。用几率值法(Finney, 1971)求出KC_{50}，KC_{95}，LC_{50}和LC_{95}，95%置信限不重叠的为差异显著。用卡方测验检验结果的可靠性。

表 1　β-细辛醚对 4 种害虫的熏蒸击倒及致死作用的浓度及熏蒸时间

Table 1　Concentrations and fumigating time for knockdown and mortality measurements of 4 insects

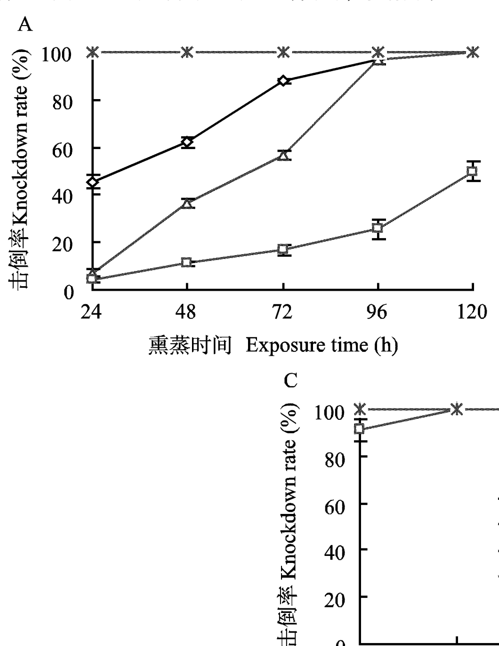
试虫 Insect species	击倒作用浓度(μL/L) Concentration for knockdown	击倒作用熏蒸时间(h) Fumigating time for knockdown	致死作用浓度(μL/L) Lethal concentration	致死作用熏蒸时间(h) Fumigating time causing death
玉米象 *Sitophilus zeamais*	125, 100, 75, 50, 25, 12.5, 0	24	75, 50, 25, 12.5, 6.25, 3.13, 0	120
谷蠹 *Rhyzopertha dominica*	200, 175, 150, 125, 100, 75, 50, 0	24	50, 25, 12.5, 6.25, 3.13, 1.56, 0.78, 0	120
赤拟谷盗 *Tribolium castaneum*	200, 175, 150, 125, 100, 75, 50, 0	24	200, 175, 150, 125, 100, 75, 50, 0	120
四纹豆象 *Callosobruchus maculatus*	6.25, 3.13, 1.56, 0.81, 0.58, 0.42, 0	24	3.13, 1.56, 0.81, 0.58, 0.42, 0.21, 0	120

2　结果与分析

2.1　β-细辛醚对 4 种试虫成虫的熏蒸活性比较

将 β-细辛醚以 200, 100 和 50 μL/L 的熏蒸浓度对玉米象、谷蠹、赤拟谷盗、四纹豆象成虫进行熏蒸 24, 48, 72, 96 和 120 h, 结果表明 β-细辛醚 对 4 种试虫均具有明显的击倒和致死作用, 熏蒸效果随着试虫、处理浓度和熏蒸时间的不同而不同(图 1 和图 2)。

图 1 表明, β-细辛醚对 4 种试虫均具有明显的击倒作用, 4 种试虫的反应不同, 其中以对四纹豆象的效果最好, 以最低浓度 50 μL/L 的浓度处理 24 h 后的击倒率就达到了 100%, 对玉米象的击倒作用其次, 击倒率为 45.55%, 而对谷蠹和赤拟谷盗的击倒作用最差, 只有6.67% 和4.44% 。以最低浓



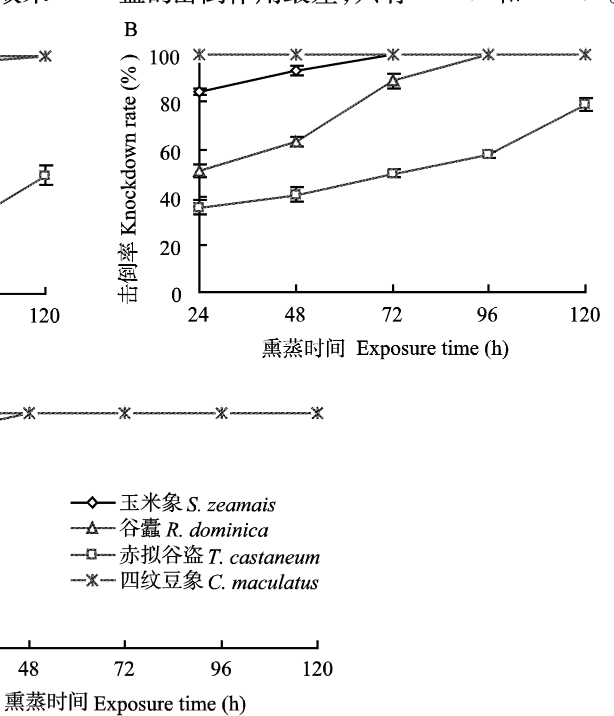


图 1　β-细辛醚不同浓度、不同处理时间对玉米象、谷蠹、赤拟谷盗和四纹豆象成虫熏蒸击倒作用

Fig. 1　Knockdown effect of β-asarone after treatment at different concentrations for various treatment time against *Sitophilus zeamais*, *Rhyzopertha dominica*, *Tribolium castaneum* and *Callosobruchus maculatus* adults

图中数值为平均值 ± *SE*; A, B 和 C 分别表示 50, 100, 200 μL/L 剂量下的熏蒸结果, 下同。Data in the figure are mean ± *SE*; A, B and C show the fumigant results at the dosage of 50, 100, 200 μL/L, respectively. The same below.

度 50 μL/L 处理 120 h 后，对四纹豆象、玉米象和谷蠹的击倒作用均达到 100%，而对赤拟谷盗击倒率为 50%。以 100 μL/L 的浓度处理 48 h 后，对四纹豆象、玉米象、谷蠹的击倒率均达到 60% 以上，处理 96 h 后，对四纹豆象、玉米象、谷蠹 3 种试虫的击倒率均达到 100%，而对赤拟谷盗的击倒率为 57.78%。以最高浓度 200 μL/L 的浓度处理 48 h 后，4 种试虫的击倒率均达到 100%。

图 2 表明，β-细辛醚对 4 种试虫具有明显的熏蒸致死作用。4 种试虫中，对赤拟谷盗的作用最差，对四纹豆象效果最好。以 50 μL/L 的浓度处理 120 h 后，赤拟谷盗的死亡率仅为 8.89%，而玉米象、谷蠹和四纹豆象的死亡率分别为：81.23%，97.78% 和 100%。以 100 μL/L 的浓度处理 120 h 后，玉米象、谷蠹和四纹豆象的死亡率均为 100%，而赤拟谷盗的死亡率仅为 34.44%。在最高浓度 200 μL/L 处理 48 h 后，玉米象、谷蠹和四纹豆象的死亡率均达到 100%，而赤拟谷盗在处理 120 h 后，死亡率才达到 96.67%。

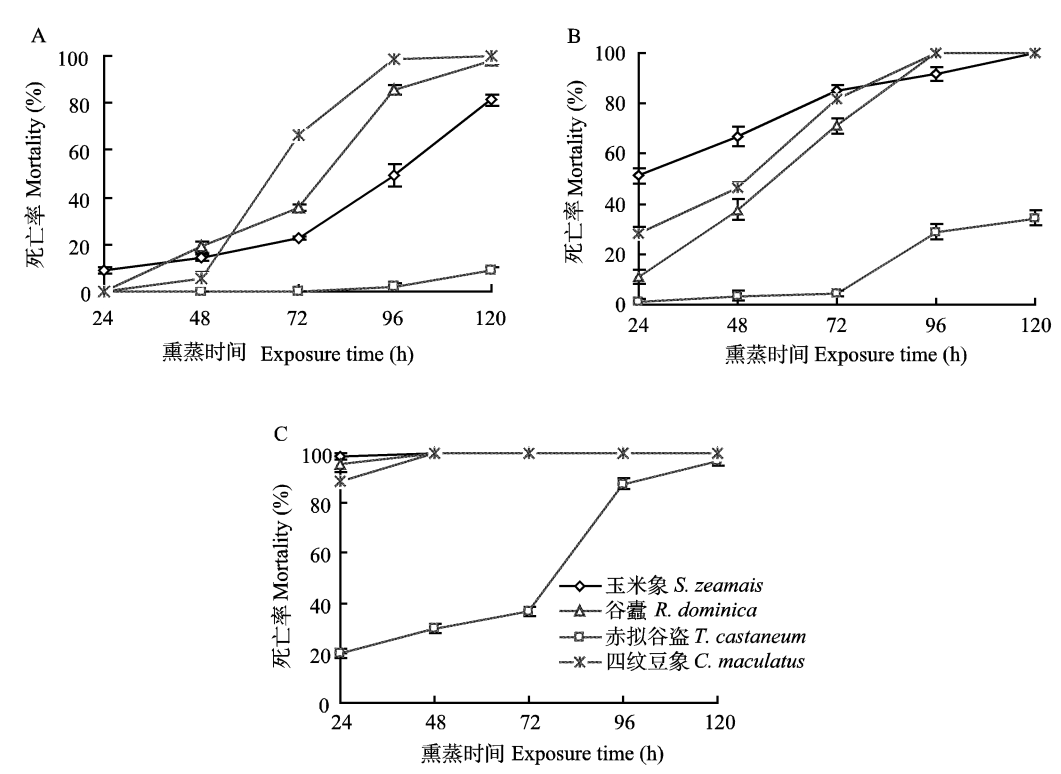


图 2　β-细辛醚不同浓度、不同处理时间对玉米象、谷蠹、赤拟谷盗、四纹豆象成虫熏蒸致死作用

Fig. 2　Fumigant mortality of β-asarone after treatment at different concentrations for various treatment time against *Sitophilus zeamais*, *Rhyzopertha dominica*, *Tribolium castaneum* and *Callosobruchus maculatus* adults

2.2　β-细辛醚对 4 种试虫成虫的熏蒸毒力研究

表 2 的几率值分析表明，四纹豆象比玉米象、谷蠹、赤拟谷盗对 β-细辛醚更加敏感，处理 24 h 后，四纹豆象的 KC_{50} 为 1.07 μL/L，而玉米象、谷蠹、赤拟谷盗的 KC_{50} 分别为 49.38，102.96 和124.04 μL/L。

根据 KC_{50} 和 KC_{95} 及其 95% 置信限，β-细辛醚对四纹豆象的击倒作用与玉米象、谷蠹和赤拟谷盗的击倒效果之间有显著差异，95% 的置信限间没有重叠；而玉米象、谷蠹和赤拟谷盗之间的效果没有显著差异，95% 置信限有重叠。

表 3 表明，β-细辛醚处理 120 h 后，对 4 种试虫的熏蒸致死作用差异很大。从 LC_{50} 来看，对 β-细辛醚的敏感程度为：四纹豆象 > 谷蠹 > 玉米象 > 赤拟谷盗。它们的 LC_{50} 分别为 0.73，4.42，17.82 和 116.48 μL/L。

根据 LC_{50} 和 LC_{95} 及其 95% 置信限，四纹豆象的熏蒸致死作用与其他 3 种试虫间有显著差异，95% 置信限没有重叠；玉米象和谷蠹的熏蒸致死效果间没有显著差异，而它们与赤拟谷盗间存在显著差异。

表 2　β-细辛醚对玉米象、谷蠹、赤拟谷盗、四纹豆象成虫熏蒸击倒作用

Table 2　Knockdown effect of β-asarone against *Sitophilus zeamais*, *Rhyzopertha dominica*, *Tribolium castaneum* and *Callosobruchus maculatus* adults

试虫 Insect species	KC_{50} (μL/L)	KC_{95} (μL/L)	Slope ± *SE*	Degrees of freedom	χ^2	*P*-value
玉米象 *S. zeamais*	49.38 (28.18 – 70.59)	174.62 (116.77 – 232.47)	2.99 ± 0.72	5	1.60	0.90
谷蠹 *R. dominica*	102.96 (57.98 – 148.01)	231.46 (143.76 – 319.16)	4.67 ± 0.75	6	1.60	0.95
赤拟谷盗 *T. castaneum*	124.04 (51.75 – 196.30)	264.40 (122.68 – 406.11)	5.00 ± 0.64	6	0.04	1.00
四纹豆象 *C. maculatus*	1.07 (0.11 – 2.03)	4.73 (0.77 – 8.69)	2.55 ± 0.42	5	0.98	0.96

KC_{50}和 KC_{95}为在 27℃、相对湿度 75% ± 5% 的条件下处理 24 h 后的数据；括号中的数值表示 95% 置信限。KC_{50} and KC_{95} were the data applied for 24 h at 27℃ and RH 75% ± 5%; 95% lower and upper fiducial limits are shown in parenthesis.

表 3　β-细辛醚对玉米象、谷蠹、赤拟谷盗、四纹豆象成虫熏蒸致死作用

Table 3　Fumigant mortality of β-asarone against *Sitophilus zeamais*, *Rhyzopertha dominica*, *Tribolium castaneum* and *Callosobruchus maculatus* adults

试虫 Insect species	LC_{50} (μL/L)	LC_{95} (μL/L)	Slope ± *SE*	Degrees of freedom	χ^2	*P*-value
玉米象 *S. zeamais*	17.82 (4.36 – 31.28)	105.59 (56.93 – 154.23)	2.12 ± 0.36	5	0.02	1.00
谷蠹 *R. dominica*	4.42 (1.07 – 7.78)	62.38 (26.65 – 98.12)	1.43 ± 0.33	6	0.06	1.00
赤拟谷盗 *T. castaneum*	116.48 (66.24 – 166.75)	254.17 (158.48 – 349.86)	4.85 ± 0.81	6	0.11	1.00
四纹豆象 *C. maculatus*	0.73 (0.15 – 1.31)	3.75 (0.93 – 6.56)	2.31 ± 0.52	5	0.02	1.00

LC_{50}和 LC_{95}为在 27℃、相对湿度 75% ± 5% 的条件下处理 120 h 后的数据；括号中的数值表示 95% 置信限。LC_{50} and LC_{95} were the data applied for 120 h at 27℃ and RH 75% ± 5%; 95% lower and upper fiducial limits are shown in parenthesis.

3　讨论

本试验对水菖蒲根茎提取物 β-细辛醚对 4 种试虫：玉米象、谷蠹、赤拟谷盗和四纹豆象的熏蒸作用进行了研究，结果表明，β-细辛醚对 4 种试虫均具有明显的熏蒸击倒和致死作用。

试验中的 4 种试虫均为鞘翅目昆虫，但在试验中发现，β-细辛醚对不同试虫的熏蒸活性差异很大。造成这种现象的原因，可能与试虫的活动性以及 β-细辛醚对于不同试虫的作用机理不同有着密切的联系。赤拟谷盗的活动性相对于其他 3 种试虫较差，可能在一定程度上降低了熏蒸效果，此结果与水菖蒲乙醇提取物对不同试虫的活性结果是一致的(延静等，2006)。邱艳(2007)和宋旭红(2007)研究了从石菖蒲根茎中提取的 β-细辛醚对玉米象和谷蠹不同酶系的影响，结果表明，β-细辛醚对酶系的影响，针对玉米象和谷蠹，其变化趋势不是完全一致的，说明 β-细辛醚对于不同的试虫，其作用机理可能有一定的差异，因此造成 β-细辛醚对不同试虫的熏蒸效果的差异。关于 β-细辛醚对试虫的作用机理有待进一步深入研究。

试验中发现试虫的中毒行为反应过程包括兴奋、痉挛、麻痹、死亡几个阶段。兴奋期的特点为活动剧烈，运动不协调，很快被击倒；痉挛期的特点为运动反常，不能爬动，足、触角均抽搐、颤抖；麻痹期的主要特点为，试虫不动，足、触角微有颤抖；死亡的症状为体表干燥，足、触角僵硬外伸。可以初步推断 β-细辛醚为神经毒剂。

前人对于水菖蒲的研究主要集中在粗提物上，而对于其中活性物质的作用研究较少。Tewary 等(2005)报道水菖蒲挥发油对豆蚜、二斑叶螨 *Tetranychus urticae* Koch、斜纹夜蛾 *Spodoptera litura*(Fabricus)、小菜蛾 *Plutella xylostella*(Linnaeus)、棉铃虫 *Helicoverpa armigera*(Hübner)具有触杀作用。水菖蒲植物粉对谷蠹具有杀死当代成虫并抑制其后代出现的作用(Chander *et al*., 2003)。现场试验表明，水菖蒲对仓库害虫具有驱避作用(Chander *et al*., 2000)。β-细辛醚的同分异构体 α-细辛醚对谷象 *Sitophilus granarius*、杂拟谷盗 *Tribolium confusum* 的成虫以及谷斑皮蠹 *Trogoderma granarium*、杂拟谷盗的幼虫具有拒食作用(Poplawski *et al*., 2000)。Rahman 和 Schmidt 等研究了来自 3 个不同国家的水菖蒲提取的挥发油对灰豆象成虫和卵都具有不同程度的杀死作用(Rahman and Schmidt, 1999)。水菖蒲挥发油对四纹豆象、米象 *Sitophilus oryzae*(L.)、烟草甲 *Lasioderma serricorne*(Fabricius)和杂拟谷盗成虫具有触杀作用(Su, 1991)。2% 的水菖蒲挥发油对家蝇具有驱避和触杀作用(Singh and Singh, 1991)。Lee 等(2004)从同属植物石菖蒲中分离出来了主要的抗菌成分为 β-细辛醚。本研究所的邱艳等(2008)、宋旭红等(2007, 2008)初步研究表明从石菖蒲根茎中提取的活性物质 β-细辛醚对玉米象和谷蠹均具有明显的驱避、触杀、熏蒸和对子代的种群抑制作用，其熏蒸效果与本研究的结果相一致。

Park 等(2002)报道，β-细辛醚对米象，烟草甲和绿豆象的效果，封闭容器要比敞开容器中的效果好很多，由此推断，β-细辛醚对昆虫的作用主要是熏蒸作用，通过对呼吸系统的作用从而发挥效果。但是，在本研究所的研究中 β-细辛醚对试虫触杀作用均在敞开的容器中进行试验(Yao *et al*., 2008)，发现效果非常明显，这一结果和前人的研究结果有所不同。通过本研究所的研究表明，β-细辛醚对试虫具有多种作用方式，触杀、熏蒸和驱避作用综合对试虫起作用。由此，在粮库中的应用方式上可以采取拌粮法结合密闭等方法，使各种作用方式同时起作用，从而增强对害虫的控制作用。

β-细辛醚为苯丙素类化合物，具有很强的挥发性，由于 β-细辛醚的强挥发性使它具有作为熏蒸剂控制储粮害虫的潜力。

本研究表明，在未拌粮的情况下 β-细辛醚对玉米象、谷蠹、赤拟谷盗、四纹豆象都具有很好的熏蒸作用，β-细辛醚在拌粮条件下的渗透作用，粮食对 β-细辛醚的吸附作用大小以及 β-细辛醚对容器是否有腐蚀作用等，本研究所都在进一步研究中，以期为最终开发 β-细辛醚为储粮害虫熏蒸剂奠定基础。

参 考 文 献(References)

Abbott WS, 1925. A method of computing the effectiveness of an insecticide. *J. Econ. Entomol.*, 18: 265–267.

Addor RW, 1995. Insecticides. In: Godfrey CRA ed. Agrochemicals from Natural Products. Maecel Dekker Inc., New York. 1–63.

Bekele J, Hassanali, A, 2001. Blend effects in the toxicity of the essential oil constituents of *Ocimum kilimandscharicum* and *Ocimum kenyense* (Labiateae) on two post-harvest insect pests. *Phytochemistry*, 57: 385–391.

Bell CH, Wilson SM, 1995. Phosphine tolerance and resistance in *Trogoderma granarium* Everts (Coleoptera: Dermestidae). *J. Stored Prod. Res.*, 31: 199 – 205.

Butler JH, Rodriguez JM, 1996. Methyl bromide in the atmosphere. In: Bell CH, Price N, Chakrabarti B eds. The Methyl Bromide Issue, Vol. 1. West Sussex,Wiley, England. 27 – 90.

Chander H, Ahuja DK, Nagender A, Berry SK, 2000. Repellency of different plant extracts and commercial formulations used as prophylactic sprays to protect bagged grain against *Tribolium castaneum*: a field study. *J. Food Sci. Tech. Mys.*, 37(6): 582–585.

Chander H, Nagender A, Ahuja DK, Berry SK, 2003. Effect of various plant materials on the breeding of lesser grain borer (*Rhyzopertha dominica*) in milled rice in laboratory. *J. Food Sci. Tech. Mys.*, 40(5): 482–485.

Fields PG, Xie YS, Hou X, 2001. Repellent effect of pea (*Pisum sativum*) fractions against stored-product insects. *J. Stored Prod. Res.*, 37: 359–370.

Finney DJ, 1971. Probit Analysis. 3rd ed. Cambridge University Press, Cambridge. 333.

Haque MA, Nakakita H, Ikenaga H, Sota N, 2000. Development-inhibiting activity of some tropical plants against *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Coleoptera: Curculionidae). *J. Stored Prod. Res.*, 36: 281–287.

Huang Y, Lam SL, Ho SH, 2000. Bioactivities of essential oil from *Elletaria cardamomum* (L.) Maton. to *Sitophilus zeamais* Motschulsky and *Tribolium castaneum* (Herbst). *J. Stored Prod.*

Res., 36(2): 107 – 117.

Jembere B, Obeng-Ofori D, Hassanali A, Nyamasyo GNN, 1995. Products derived from the leaves of *Ocimum kilimandscharicum* (Labiatae) as post-harvest grain protectants against the infestation of three major stored product insect pests. *Bull. Entomol. Res.*, 85: 361 – 367.

Lee JY, Lee JY, Yun BS, Hwang BK, 2004. Antifungal activity of beta-asarone from rhizomes of *Acorus gramineus*. *J. Agr. Food Chem.*, 25: 776 – 780.

Madrid FJ, White NDG, Loschiavo SR, 1990. Insects in stored cereals and their association with farming practices in southern Manitoba. *Can. Entomol.*, 122: 515 – 523.

Mills KA, 1983. Resistance to the fumigant hydrogen phosphide in some stored-product species associated with repeated inadequate treatments. *Mitteilungen der Deutschen Gesellschaft fur Allgemeine und Angewandte Entomologie*, 4: 98 – 101.

Nakakita H, Winks RG, 1981. Phosphine resistance in immature stages of a laboratory selected strain of *Tribolium castaneum*. *J. Stored Prod. Res.*, 17: 43 – 52.

Okonkwo EU, Okoye WI, 1996. The efficacy of four seed powders and the essential oils as protectants of cowpea and maize grains against infestation by *Callosobruchus maculatus* (Fabricius) (Coleoptera: Bruchidae) and *Sitophilus zeamais* (Motschulsky) (Coleoptera: Curculionidae) in Nigeria. *Int. J. Pest Manag.*, 42: 143 – 146.

Park BS, Lee SE, Choi WS, Jeong CY, Song C, Cho KY, 2002. Insecticidal and acaricidal activity of piperonaline and piperoctadecalidine derived from dried fruits of *Piper longum* L. *Crop Protection*, 21: 249 – 251.

Poplawski J, Lozowicka B, Dubis A, Lachowska B, Winiecki Z, Nawrot J, 2000. Feeding-deterrent activity of alpha-asarone isomers against some stored Coleoptera. *Pest Manag. Sci.*, 56(6): 560 – 564.

Qiu Y, 2007. Bioactivities and insecticidal mechanism of β-asarone extracted from *Acorus gramineus* Soland against *Sitophilus zeamais* Motschulsky. MSc Thesis, Huazhong Agricultural Univesity, Wuhan. [邱艳, 2007. 石菖蒲根茎提取物 β-细辛醚对玉米象生物活性及杀虫机理的研究. 武汉: 华中农业大学硕士学位论文]

Qiu Y, Song XH, Huang YZ, Hua HX, Yang CJ, 2008. Toxicity and control effect of β-asarone from *Acorus gramineus* Soland against *Sitophilus zeamais* Mot. *Huazhong Agricultural University*, 27(1): 52 – 55. [邱艳, 宋旭红, 黄衍章, 华红霞, 杨长举, 2008. 石菖蒲根茎提取物 β-细辛醚对玉米象成虫的毒力及防治效果. 华中农业大学学报, 27(1): 52 – 55]

Rahman MM, Schmidt GH, 1999. Effect of *Acorus calamus* (L.) (Araceae) essential oil vapours from various origins on *Callosobruchus phaseoli* (Gyllenhal) (Coleoptera: Bruchidae). *J. Stored Prod. Res.*, 35: 285 – 295.

Raina VK, Srivastava SK, Syamasunder KV, 2003. Essential oil composition of *Acorus calamus* L. from the lower region of the Himalayas. *Flavour Frag. J.*, 18: 18 – 20.

Rajapakse R, Van Emden HF, 1997. Potential of four vegetable oils and ten botanical powders for reducing infestation of cowpeas by *Callosobruchus maculatus*, *C. chinensis* and *C. rhodesianus*. *J. Stored Prod. Res.*, 33: 59 – 68.

Shaaya E, Ravid U, Paster N, Juven B, Zisman U, Pissarev V, 1991. Fumigant toxicity of essential oils against four major stored product insects. *J. Chem. Ecol.*, 17: 499 – 504.

Sighamony S, Anees I, Chandrakala TS, Osmani Z, 1986. Efficacy of certain indigenous plant products as grain protectants agaist *Sitophilus oryzae* (L.) and *Rhyzopertha dominica* (F.). *J. Stored Prod. Res.*, 22: 21 – 23.

Singh D, Singh AK, 1991. Repellent and insecticidal properties of essential oils against housefly, *Musca domestica* L. *Insect Science and Its Application*, 12: 487 – 491.

Sinha RN, Watters FL, 1985. Insect Pests of Flour mills, Grain Elevators, and Feed Mills and Their Control. Agriculture Canada Publication, Ottawa.

Song XH, 2007. Studies on Bioactivity and Mechanism of β-asarone Derived from *Acorus gramineus* Soland Rhizome against *Rhizopertha dominica* (Fab.). MSc Thesis, Huazhong Agricultural Univesity, Wuhan. [宋旭红, 2007. 石菖蒲根茎提取物 β-细辛醚对谷蠹的生物活性测定及作用机理研究. 武汉: 华中农业大学硕士学位论文]

Song XH, Hua HX, Qiu Y, Huang YZ, Yang CJ, Xue D, 2007. Toxicity of β-asarone derived from *Acorus gramineus* Soland against *Rhizopertha dominica* Fab. *Huazhong Agricultural University*, 26 (5): 629 – 631. [宋旭红, 华红霞, 邱艳, 黄衍章, 杨长举, 薛东, 2007. 石菖蒲根茎提取物 β-细辛醚对谷蠹成虫的毒杀作用. 华中农业大学学报, 26(5): 629 – 631]

Song XH, Qiu Y, Huang YZ, Hua HX, Cai WL, Yang CJ, Xue D, 2008. Effect of β-asarone derived from *Acorus gramineus* on inhibition of *Rhizopertha dominica* Fab. *Hubei Agricultural Sciences*, 47(3): 305 – 306. [宋旭红, 邱艳, 黄衍章, 华红霞, 蔡万伦, 杨长举, 薛东, 2008. 石菖蒲根茎提取物 β-细辛醚对谷蠹成虫的抑制作用. 湖北农业科学, 47(3): 305 – 306]

Su HCF, 1991. Laboratory evaluation of toxicity in *Calamus* oil against four species of stored-product insects. *J. Entomol. Sci.*, 26(1): 76 – 80.

Talukder FA, Howse PE, 1995. Evaluation of *Aphanamixis polystachya* as a source of repellents, antifeedants, toxicants and protectants in storage against *Tribolium castaneum* (Herbst). *J. Stored Prod. Res.*, 31(1): 55 – 61.

Tapondjou LA, Adler C, Bouda H, Fontem DA, 2002. Efficacy of powder and essential oil from *Chenopodium ambrosioides* leaves as post-harvest grain protectants against six-stored product beetles. *J. Stored Prod. Res.*, 38: 395 – 402.

Tewary DK, Bhardwaj A, Shanker A, 2005. Pesticidal activities in five medicinal plants collected from mid hills of western Himalayas. *Ind. Crops Prod.*, 22: 241 – 247.

Tyler PS, Taylor RW, Rees DP, 1983. Insect resistance to phosphine fumigation in food warehousers in Bangladesh. *International Pest Control*, 25: 10 – 13, 21.

Yan J, Xie LD, Yang CJ, Xue D, Yao YJ, Yu M, 2006. Bioactivities of extracts from *Acorus calamus* L. against four stored grain insects. *Journal of Huazhong Agricultural University* (*Natural Science Edition*), 25(5): 515 - 517. [延静, 谢令德, 杨长举, 薛东, 姚英娟, 喻梅, 2006. 水菖蒲提取物对 4 种储粮害虫的生物活性. 华中农业大学学报(自然科学版), 25(5): 515 - 517]

Yao YJ, Xue D, Yang CJ, 2005. Bioactivities of extracts from 21 species of plants against maize weevil, *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Coleoptera: Curculionidae). *Acta Entomologica Sinica*, 48(5): 692 - 698. [姚英娟, 薛东, 杨长举, 2005. 21 种植物提取物对玉米象生物活性的初步研究. 昆虫学报, 48(5): 692 - 698]

Yao YJ, Yang CJ, Xue D, Huang YZ, 2007. Bioactivities of extracts from *Acorus gramineus* on four stored grain pests. *Acta Entomologica Sinica*, 50(3): 309 - 312. [姚英娟, 杨长举, 薛东, 黄衍章, 2007. 石菖蒲提取物对四种储粮害虫的生物活性研究. 昆虫学报, 50(3): 309 - 312]

YaoYJ, Cai WL, Yang CJ, Xue D, Huang YZ, 2008. Isolation and characterization of insecticidal activity of (*Z*)-asarone from *Acorus calamus* L. *Insect Science*, 15: 229 - 236.

(责任编辑: 赵利辉)